

## ⑫ 公開特許公報 (A)

昭56—35524

⑤ Int. Cl.<sup>3</sup>  
H 03 H 9/19

識別記号

庁内整理番号  
7190—5 J

⑬ 公開 昭和56年(1981)4月8日

発明の数 1  
審査請求 有

(全 6 頁)

## ⑭ 水晶振動子

東京都世田谷区太子堂4の9の  
7

⑯ 特 願 昭55—113147

⑰ 出 願 人 尾上守夫

⑱ 出 願 昭50(1975)2月21日

東京都世田谷区太子堂4の9の  
7

⑲ 特 願 昭50—21540の分割

⑳ 発 明 者 尾上守夫

㉑ 代 理 人 弁理士 鈴江武彦 外1名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

水晶振動子

## 2. 特許請求の範囲

(1) 水晶片のX軸に長さを設定し、主表面をその法線が上記X軸に垂直でY軸からZ軸の方向に $3^{\circ}4'5''$ ないし $3^{\circ}2'0''$ 傾斜した平行平面に形成し、側面を上記主表面の法線からさらにZ軸の方向へ $2^{\circ}$ ないし $1^{\circ}6'$ 傾斜させるとともに辺比を0.5ないし6としかつ振動子の長さ方向の一端を支持してなる水晶振動子。

## 3. 発明の詳細な説明

この発明は厚みすべり振動を行う周波数温度特性の良好な水晶振動子に関する。

一般に高周波で使用する水晶振動子は薄板状でその振動状態として共振周波数が厚みに反比例するような厚み振動を利用している。ところで板面が厚みに比して十分広く、変位が主板面に平行な厚み振動、すなわち厚みすべり振動を行う振動子については理論的にもよく説明され

ており、多くの圧電結晶、圧電セラミック等に対して実用装置を容易に設計し製作することができる。特に圧電セラミックのような等方性弾性体の厚みすべり振動では、振動による変位に平行な面、すなわち振動子の側面に応力は作用しないのでその辺比( $w/t$ )、すなわち振動子の幅 $w$ と厚み $t$ との比を比較的任意に設定することができる。したがって共振周波数の低い、つまり厚み $t$ の厚い振動子であっても、その辺比( $w/t$ )を小さくすることにより、全体の寸法を小型にすることができる。

従来このような等方性弾性体の振動特性から類推して第1図に示すような異方性弾性体の振動子、たとえば水晶振動子が用いられている。第1図において1は回転Y板からなる水晶素片でその長さ $l$ は結晶のX軸方向に設定し、共振周波数を決定する厚み $t$ は、たとえばAT板ではその主表面の法線が結晶のX軸に垂直でY軸からZ軸方向へ約 $3^{\circ}5'$ 、r面の法線に対してY軸方向へ約 $3^{\circ}$ 傾けて設定し、幅 $w$ は上記長さ方

向、および厚み方向に直角に設定している。そして、上記厚み方向に垂直な面、すなわち主表面にそれぞれ電極2を設け、この電極2にそれぞれ引出線3を接続している。このようにすれば引出線3を介して水晶素片1に高周波電圧を印加して厚みすべり振動を励振することができる。この場合上記振動による水晶素片1の変位は長さ方向に平行であるから前述の等方性弾性体の厚みすべり振動特性から類推すれば所定の厚みすべり振動特性を維持しつつ上記変位に平行な側面の間隔、すなわち幅 $w$ を任意に設定し得るはずである。しかしながらこのような水晶振動子は幅 $w$ が比較的大なる範囲ではそれを変化させても振動特性に影響はないが、更に小型化して幅 $w$ を厚み $t$ と同じ程度にすると、厚み $t$ に比して板面が十分広いという厚みすべり振動の前提が崩れてその振動特性が変化しやすくなり振動の数が強さが増すという問題がある。

一方、A T板の振動子の周波数温度特性は第2図に示すように3次曲線状であり、変曲点温

3

る周波数温度特性が敏感になり、また辺比( $w/t$ )を変化させることによって周波数も変化するために製作が困難になるという問題がある。

このような問題の原因を探索した結果、水晶の弾性係数 $C'_{56}$ （座標軸を第1図に示すように設定する）がセラミックのような等方性圧電体と異なって零ではないために目的とする厚みすべり振動に幅方向の輪廓すべり振動が結合しているためであることが判明した。すなわち水晶振動子においては上記弾性係数 $C'_{56}$ が零ではないので境界条件を介して厚みすべり振動と、輪廓すべり振動とが結合して振動子の側面における表面自由の境界条件を厚みすべり振動単独で満足させることができないためである。

ところで弾性振動理論によれば厚みすべり振動のみで境界条件を満足させることができる側面の傾き角 $\alpha$ は次に示す(1)式で与えられる。

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{C'_{56}}{C'_{66}} \quad \dots\dots (1)$$

この(1)式を計算すると側面の傾き角 $\alpha$ は約5°に

5

度T。およびその点における温度係数（微係数 $T_e$ ）は板面が十分広いときは厚み $t$ の方向がZ軸となす切断角度によってほとんど定まり、周辺寸法にはあまり影響されない。しかし一般に広い温度範囲において良好な周波数温度特性を得るためには変曲点温度 $T_0$ における温度係数（微係数 $T_e$ ）を零にするか、あるいはわずかに負値にするのが通常の手法でこのような温度係数を零温度係数と略称している。ところが振動子の幅 $w$ を狭くすると微係数 $T_e$ が変動し、零温度係数を示さなくなるがこのような振動子の辺比( $w/t$ )および辺断角度を調整することにより再び零温度係数にすることができる。しかしながらこのような辺比( $w/t$ )および辺断角度を調整すると変曲点温度 $T_0$ が変動し、たとえば主面が十分広い振動子で変曲点温度 $T_0$ が25℃のものをもその辺比( $w/t$ )を3にすると変曲点温度は40℃程度になり常温において使用するためには不適當になる。さらにこのように辺比( $w/t$ )辺断角度を調整すると辺比( $w/t$ )に対す

4

なるが、弾性係数は温度によって変化するため上記計算値は目安にすぎず、さらに水晶素片の切断角度によってその境界条件を満足する側面の傾き角 $\alpha$ も変化する。

この発明は上記の事情に鑑みてなされたもので周波数温度特性が安定で製造が容易であり、それによって小型化することができる水晶振動子を提供することを目的とするものである。

この発明は水晶振動子の切断角度と、側面の傾け角および周波数温度特性との関係に基づいてなされたもので水晶片のX軸に長さを設定し、主表面を、その法線が上記X軸に垂直でY軸からZ軸の方向に3°45'～3°52'0'傾斜する平行平面に形成し、側面を上記主表面の法線からさらにZ軸の方向へ2°～16°傾斜させたこと、およびこの振動子の長さ方向の一端を支持するようにしたことを特徴とするものである。

以下この発明において圧電振動子の切断角および側面の傾斜角を規定した理由について説明する。第3図は辺比( $w/t$ )、すなわち幅 $w$ と厚

6

み $t$ との比を6に形成し、長さ方向を結晶のX軸に設定した水晶振動子の切断角度 $\theta$ と側面の傾け角 $\alpha$ との関係について0℃～60℃の温度で周波数温度特性を測定した結果を示すグラフである。このグラフから明らかなように実用上満足し得る0℃～60℃の温度範囲において周波数温度特性を±30 ppm以下にするためには切断角度を3°4'45'～3°5'20'とし、また側面の傾け角を2°～1°6'とすればよい。第4図は切断角度3°5'09'、辺比( $w/t$ )6の水晶振動子の側面の傾け角が1°5'、1°0'、5°、および側面を垂直にしたものについて周波数温度特性を示すものである。このグラフからも明らかなように側面を5°～1°0'傾けることにより変曲点における温度係数は若干負になるが全体としての周波数変動が少くなっている。第5図はこの発明による水晶振動子を示す図で第5図aは斜視図、第5図bは正面図である。第5図a、bにおいて振動子101の長さ $l$ の方向を結晶のX軸方向へ設定し、また平行平面に形成した主面Y、

7

Z面内でY軸からZ軸の方向へ3°4'45'～3°5'20'の範囲に設定し、側面の傾き角を更にZ軸の方向へ2°～1°6'傾斜するようにしている。第5図bにおいてr及びRで示される線は水晶の自然面でありrはマイナーロンボヘドラル面、Rはメジャーロンボヘドラル面である。従って振動子101の主表面の法線はr面の法線より、YZ面内においてY軸の方向へ約3°傾いている。

そして102は主面に添設した電極、103はリード線である。第6図は辺比( $w/t$ )6、切断角度 $\theta$ 3°5'15'とした水晶振動子の側面の傾き角度 $\alpha$ と周波数温度係数 $\partial(\frac{df}{f})/\partial T$ との関係を示すグラフである。このグラフからも明らかなように側面の傾き角度 $\alpha$ が5°附近では周波数温度係数が小さく、このように側面の傾け角 $\alpha$ に対する許容誤差が大きいので製造が容易である。さらに第7図a、bは辺比( $w/t$ )と変曲点温度 $T_c$ および変曲点温度 $T_c$ における温度係数 $T_c$ との関係を示すグラフでこの発明の側面を傾けた振動子を実線、従来の側面が垂直の振動

8

子を破線で示している。

このグラフからも明らかなように従来の振動子では辺比( $w/t$ )を小さくするとともに、変曲点温度 $T_c$ が高くなり、さらに辺比( $w/t$ )をわずかに変化させると温度係数 $T_c$ が大きく変化する。したがって第7図aから明らかなように変曲点温度を常温付近にするために少なくとも辺比( $w/t$ )を6以上(14字がXに3字がYとあるが、これは誤り)小型化することは困難である。また0温度係数を得るためには第7図bから明らかなように辺比( $w/t$ )を正確に所定値に調整する必要があり製造上極めて困難であった。これに対して本発明の振動子では辺比( $w/t$ )を変化させても変曲点温度 $T_c$ は略一定であり、またそれによる温度係数 $T_c$ の変化も少ない。したがって第7図aからも明らかなように辺比( $w/t$ )を0.5ないし6にすることによって形状の小型化を図ることができ、しかも常温付近に変曲点温度を得ることができる。そして第7図bからも明らかなように0温度係数に容易に調整することができる。

9

ところで振動子の形状を小型化するためにはその長さ方向の寸法も小さくする必要があるが、単に寸法を短くすると、振動エネルギーが振動子の両側に逃げるために保持が困難になり、不要振動等が発生しやすくなる。これを避けるためには振動を短冊状の中央にとじ込める必要があり、そのために前記ベベル加工、コンベックス加工を振動子の長手方向に施すと効果的である。第8図a、b、cは長手方向にベベル加工を施した振動子を示す図で同図aは正面図、bは平面図、cは側面図である。また第9図a、b、cは長手方向にコンベックス加工を施した振動子を示す図で同図aは正面図、bは平面図、cは側面図である。なお、このように長手方向にベベル加工、コンベックス加工等を施した振動子を量産する場合は第10図aに平面図、bに正面図、cに側面図を示すように長手方向に所望の加工を施した幅広い板を作製し、この板を所定の角度で長さ方向に切断すれば容易に大量生産することができる。

10

また、振動子の中央部に振動を閉じ込める他の方法として電極によるエネルギー閉じ込め効果を利用する方法があるが、たとえばこの発明の側面を傾けた振動子に膜厚の厚い電極を添設して、その質量負荷効果および圧電反作用によって振動を電極の直下近傍に閉じ込めることができる。なお、振動子の中央部に振動を閉じ込めるためにベベル加工等の形状加工と電極によるエネルギー閉じ込め効果とを併用するようにしてもよい。

このように振動を閉じ込めた振動子は長手方向の端部を保持しても特性上格別の影響もなくまたこの発明の振動子は小型化することができ、それによって軽量なものにできるので第11図に示すように振動子の長手方向の一端を支持するようにもできる。第11図において201は振動子素片、202、203は電極、204、205は電極、202、203の引出部、206は容器底板、207、208は気密端子である。そして振動子素片201の長手方向の一端を半田、導電性接着剤等によって底板206に取着

11

している。電極の引出部204、205と気密端子207、208の外部側との間は気密を保持し、かつ導通するために蒸着、導電性接着剤等によって導電性通路を設ける。また、振動子素片201を導電性接着剤によって容器底板206に取着する場合は電極202、203の引出部204、205の間に絶縁膜を介挿し、あるいは引出部204、205と気密端子207、208とをリード線等によって接続すればよい。なお上記容器底板206を円形にすれば円筒形の容器を容器底板206にかぶせて容易に気密構造にすることができる。

以上詳述したようにこの発明は水晶片のX軸に長さを設定し、主表面をその法線から上記X軸に垂直でY軸からZ軸の方向へ $34^{\circ}45'$ ないし $35^{\circ}20'$ 傾斜して平行平面に形成し、側面を上記主表面の法線からZ軸の方向へ $2^{\circ}$ ないし $16^{\circ}$ 傾斜させたもの、あるいはこの水晶片の長さ方向の一端を支持するようにしたものである。

したがって、周波数温度特性が良好で小型化

12

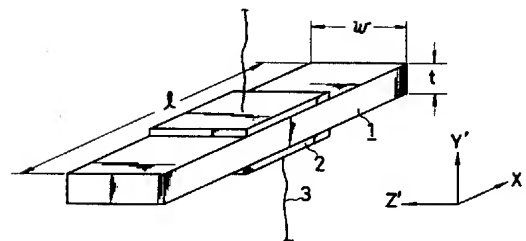
することができ、しかも容易に製作することができ大量生産に適する水晶振動子を提供できる。

#### 4. 図面の簡単な説明

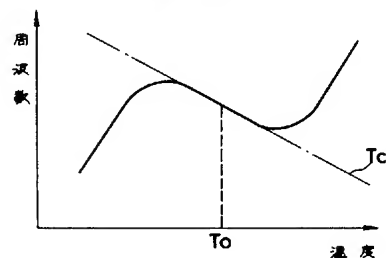
第1図は従来の水晶振動子を示す図、第2図は周波数温度特性を示すグラフ、第3図は周波数温度特性と振動子の切断角度および側面の傾け角との関係を示すグラフ、第4図は振動子の側面の傾け角と周波数温度特性との関係を示すグラフ、第5図a、bはこの発明の水晶振動子を示す図で第5図aは斜視図、第5図bは正面図、第6図は振動子の側面の傾け角と周波数温度係数との関係を示すグラフ、第7図a、bはこの発明の水晶振動子と、従来の水晶振動子との特性を比較して示すグラフで第7図aは辺比と変曲点温度との関係を示すグラフ、第7図bは辺比と温度係数との関係を示すグラフ、第8図乃至第11図は本発明の一実施例の振動子を示す図、第10図は本発明の一実施例の斜視図である。

13

第1図



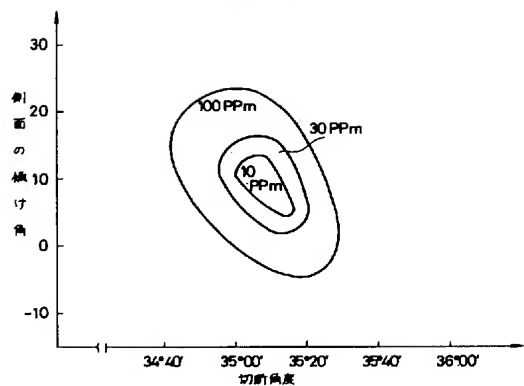
第2図



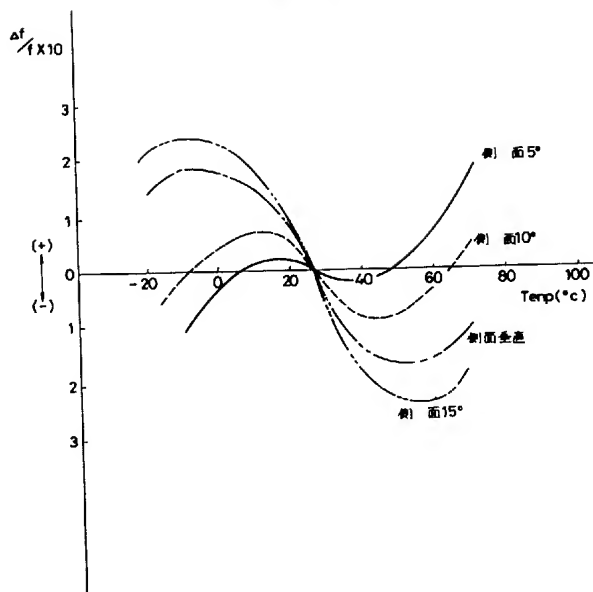
48112

水晶

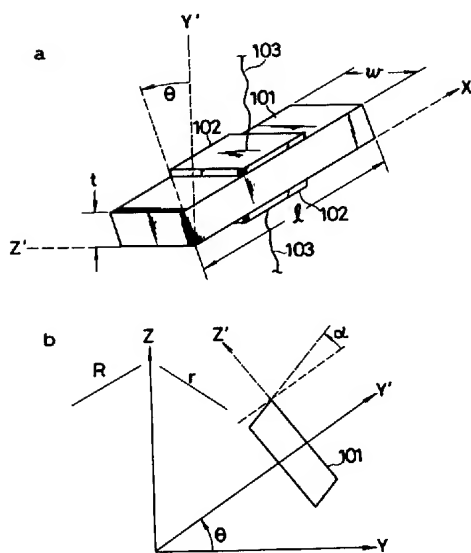
第 3 図



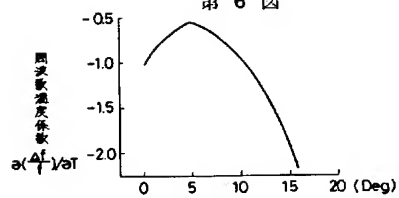
第 4 図



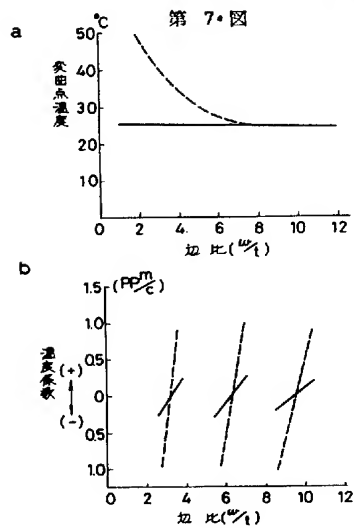
第 5 図



第 6 図



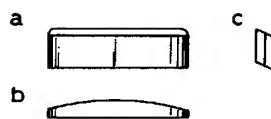
第 7 図



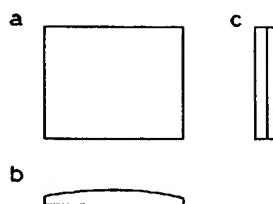
第 8 図



第 9 図



第 10 図



第 11 図

